



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY**  
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**KONTROLNÍ SYSTÉM BRZD VLAKOVÝCH  
ELEKTRICKÝCH TRAKČNÍCH JEDNOTEK**  
TRAIN ELECTRIC TRACTION UNITS BRAKES CONTROL SYSTEM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Bc. Lucie Koukolíčková

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.

BRNO 2017



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky  
Studentka: **Bc. Lucie Koukolíčková**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Kontrolní systém brzd vlakových elektrických trakčních jednotek

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Automatické brzdění vlaků je velmi důležitá zabezpečovací funkce provozů vlaků. Je žádoucí analyzovat stávající principy řízení brzdného systému, použitých brzd a současně navrhnout rozšíření o diagnostický systém, který bude umožňovat strojvedoucímu kontrolu a řízení brzdných systémů na obrazovce v kabině strojvedoucího. Zadání se týká koncepce elektrické trakční jednotky pro osobní dopravu.

### Cíle bakalářské práce:

Seznámit se s problematikou řízení a funkcí brzdného systému dané skupiny vlaků

Analyzujte stávající systém brzdění z hlediska řízení a diagnostiky.

Navrhnout algoritmy rozšiřující diagnostiky, které by zvýšily bezpečnost provozu vlakových jednotek.

Zobecněte získané poznatky z řešení.

### Seznam literatury:

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: Technická diagnostika. : 1. vydání Praha: BEN – technická literatura, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-158-6.

JANOUSEK, I., KOZÁK, J., TARABA, O. a kol.; Technická diagnostika. :1. vydání Praha, SNTL Praha, 1988. 432 s. ISBN 04-236-88.

KREIDL, M. a kol.; Diagnostické systémy. : 1. vydání Praha :Vydavatelství ČVUT, 2001. 352 s. ISBN 80-01-02349-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá vylepšením dosavadního řídicího systému elektrických trakčních jednotek. Je zaměřena na zvýšení bezpečnosti jízdy a zajištění provozu v případě poruchy některého z hlavních brzdových systémů. První část práce je zaměřena na popis elektrických trakčních jednotek a principy jejich brzdových systémů. Druhá část pojednává o implementaci nové obrazovky do stávajícího řídicího systému. Tato obrazovka zaznamenává případné problémy s brzdami a především zobrazuje výsledné omezení rychlosti pro bezpečný dojezd jednotky.

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis is focused on improving main operating system of the electric traction units. The main theme is stronger safety for the unit during the ride and keeping the unit movable if there is some problem with the brakes. First part of the thesis is focused on electric traction units and their brake systems. Second part is most about the new screen implementation. This screen shows, if there is some problem with the brakes and the most important part is the speed controller. It is the instrument for the safety arrival of the unit with some brake damage.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Elektrická trakční jednotka, bezpečnost brzdového systému, brzdový systém, brzdná váha, brzdné procento, omezovač rychlosti

## **KEYWORDS**

Electric traction unit, brake system safety, brake system, brake weight, brake weight percentage, speed controller



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KOUKOLÍČKOVÁ, L. *Kontrolní systém brzd vlakových elektrických trakčních jednotek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 43 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji doc. Ing. Zdeňku Němcovi, CSc. za vedení bakalářské práce.

Děkuji Ing. Petru Černuškovu za průběžné konzultace, cenné informace a praktické připomínky.

Velmi děkuji Ing. Miroslavu Priviczerovi za věnovaný čas, odbornou kontrolu a podněty.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Zdeňka Němce, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Lucie Koukolíčková



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBECNÝ POPIS ELEKTRICKÉ TRAKČNÍ JEDNOTKY.....</b>	<b>17</b>
2.1	Co je to elektrická trakční jednotka .....	17
2.2	Stručná historie .....	19
<b>3</b>	<b>BRZDOVÝ SYSTÉM ELEKTRICKÉ TRAKČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>23</b>
3.1	Elektrodynamická brzda .....	24
3.2	Kotoučová brzda .....	24
3.3	Magnetická kolejnicová brzda .....	25
<b>4</b>	<b>NÁVRH SYSTÉMU KONTROLY BRZD .....</b>	<b>27</b>
4.1	Větvení kontrolního mechanismu .....	27
4.2	Vstupní údaje a výpočty .....	28
4.3	Vyhodnocení výpočtů .....	30
4.4	Řešení nefunkční elektrodynamické brzdy .....	31
4.5	Řešení nefunkční kotoučové brzdy .....	32
4.5.1	Nalezení závady a odstavení nefunkční oblasti z brzdového obvodu .....	33
4.5.2	Vyhodnocení počtu funkčních brzd a přepočet rychlosti (brzdné procento).....	34
4.6	Řešení nefunkční kolejnicové brzdy .....	34
4.7	Komparace výsledků při vícenásobné chybě.....	35
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>37</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>39</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>43</b>



# 1 ÚVOD

Elektrické trakční jednotky patří v současnosti k tomu nejmodernějšímu, s čím je možné se na českých kolejích potkat. V této práci se nejprve seznámíme s tím, co přesně označení elektrická trakční jednotka znamená a jaké jsou její základní výhody jak ze strany provozovatele, tak ze strany cestujícího.

Následně bude zmíněna historie vzniku tohoto typu vozidla. Ačkoliv se elektrické trakční jednotky dostávají do širšího povědomí cestujících až v současné době, ve skutečnosti jsou jejich kořeny už v 50. letech minulého století. Ve stručnosti budou zmíněny všechny typy elektrických trakčních jednotek, které se na českých kolejích objevily a často stále slouží.

Další kapitoly již budou zaměřeny na konkrétní řešenou problematiku – diagnostika a řízení brzdového systému. Nejprve je třeba uvést, jaké systémy brzd elektrické trakční jednotky využívají a jak fungují. U každého systému bude popsáno technické provedení, funkčnost a také oblast užití.

Hlavní váha práce je směřována do kapitoly věnované samotnému návrhu vylepšení. Na základě dříve uvedených informací bude vytvořen program schopný hlásit případné poruchy jednotlivých brzdových systémů a podle předem zadaných parametrů na ně reagovat. Účelem tohoto vylepšení je především zvýšení bezpečnosti přepravovaných osob, zvýšení spolehlivosti a umožnění bezpečného dojezdu jednotky v případě neočekávané poruchy brzd.

Princip návrhu bude kromě teoretického vysvětlení demonstrován na praktickém příkladu. Zde bude možno pro několik typů jednotek simulovat poškození některé z brzd a sledovat chování systému v reakci na poruchu.





## 2 OBECNÝ POPIS ELEKTRICKÉ TRAKČNÍ JEDNOTKY

### 2.1 Co je to elektrická trakční jednotka

Nejprve je třeba specifikovat pojmy, které budou užívány.

*Jednotka je v provozu nedělitelná souprava sestavená z lokomotiv nebo hnacích vozů nebo hlavových hnacích vozidel a vložených a řídicích vozů, schopná vyvíjet tažnou sílu na obvodu kol. Elektrická jednotka je jednotka s elektrickými vozy nebo hlavovými hnacími vozidly elektrické trakce.*[1]

Tato základní definice nám uvádí jednu z hlavních odlišností vlakové jednotky od vlakové soupravy. Nicméně zdaleka nepostihuje všechno. Další vlastností jednotek je obousměrnost (oproti klasické soupravě tvořené lokomotivou a přípojnými vozy). A především elektrická trakční jednotka umožňuje odlišné umístění pohonu (hnací sílu nemusí vždy vyvíjet čelní vozy). V České republice se můžeme setkat s tímto složením jednotek:

- dva elektrické vozy (mohou být i vozy vložené)
- elektrický a řídicí vůz (mohou být i vozy vložené)
- distribuovaný pohon (hnací jsou i některé či všechny vozy vložené) [1]

Nyní se zaměříme na pojem "trakční". Slovo "trakce" je latinského původu (trahere = tahat, vozit, táhnout). Elektrickou trakci můžeme popsat jako pohon hnacího vozidla prostřednictvím elektromotoru. Nazýváme jej trakčním motorem. Do kategorie vozidel užívajících elektrickou trakci můžeme zařadit všechna hnací vozidla s elektrickým pohonem hnacích kol. Pro pohon soupravy se využívá přeměna elektrické energie z vnějšího zdroje nebo baterie na energii kinetickou a naopak. [2]

Máme tedy základní charakteristiku. Nyní je třeba zmínit řadu specifických vlastností, které odlišují elektrickou trakční jednotku od jiných souprav. Tyto odlišnosti jsou také zároveň vlastnostmi, které se zapřičiňují o stále rostoucí poptávku právě po tomto typu vlakových souprav.

- **optimalizace trakčních parametrů** = nedělitelná souprava má stálou pohotovostní hmotnost<sup>1</sup> a k ní optimálně dimenzovaný pohon
- **minimalizace hmotnosti vlaku** = souprava využívá k přepravě cestujících téměř celý svůj prostor, na rozdíl od souprav s lokomotivou, která je neužitečnou zátěží
- **zvýšení poměrné adhezní hmotnosti** = díky distribuovanému pohonu dochází k lepšímu rozložení hmotnosti vlaku a tedy plynulejšímu rozjezdu a účinnějšímu brzdění (výhodné především u regionální dopravy)

---

<sup>1</sup> Pohotovostní hmotnost = hmotnost vozidla s veškerými provozními náplněmi (olej, písek, voda), bez cestujících včetně strojvedoucího

- **zvýšení podílu elektrodynamického rekuperačního brzdění** = jednotka může být při pohonu 50% a více dvojkolí brzděna především pomocí elektrodynamické brzdy a rekuperací snižovat náklady na trakční energii
- **snížení hmotnosti na dvojkolí** = je možno dosáhnout téměř rovnoměrného zatížení všech dvojkolí v zájmu co nejnižšího namáhání trati - vzniká takzvané "track friendly" vozidlo
- **zvýšení provozní spolehlivosti** = konstrukce jednotek umožňuje zdvojení (i vyšší zmnožení) trakčních i pomocných agregátů
- **aerodynamika** = ucelená jednotka je konstruována co nejvíce aerodynamicky, což přispívá k účinnějším rozjezdům a nižší spotřebě energie
- **obousměrnost** = urychluje obraty v koncových a úvrat'ových stanicích
- **odklon od spřahovacího standardu UIC** = jednotka je nedělitelná a není tedy třeba využívat klasického spřahovacího a narážecího ústrojí [1] [4]

Tyto konstrukční výhody jsou nedílně doplněny také výhodami uživatelskými. A to jak ze strany dopravce, tak ze strany cestujícího. Začneme nejprve výhodami pro dopravce:

- snižují se provozní náklady (spotřeba energie, opotřebení dopravní cesty, údržba)
- snížení doby jízdy (jednotka je schopna snáze vyvinout rychlost až 160 km/h) a tedy i kratší doba obsazení traťového úseku
- již při výrobě je možno jednotku uzpůsobit pro daný účel (počet vozů, regionální/dálková, maximální využití prostoru)
- zvýšená bezpečnost cestujících
  - tlakotěsné přechody mezi vozy - průchod vlakem je bezbariérový, bezpečný pro pohyb, interiér je tišší, poskytuje protipožární ochranu mezi jednotlivými vozy
  - bezpečnostní dveře - při uvedení jednotky do pohybu se dveře automaticky uzamknou [3]

Výhody z pohledu cestujícího:

- moderní a pohodlný interiér
- klimatizace
- tišší a čistší prostředí
- hygienická toaleta (podtlaková)
- nízká úroveň rázů a vibrací
- připojení k elektrické síti a wi-fi
- informační systém
- možnost občerstvení

- velkoprostorové vozy s uspořádáním sedadel 2+2 za sebou (tato koncepce, připomínající letadlo, dosahuje nejlepšího výsledku v obsazování sedadel)
- vnější a vnitřní bezbariérovost (úrovňový nástup, vnitřní prostor bez schodišť)[3]

## 2.2 Stručná historie [5]

Požadavek na první elektrické jednotky zadalo Ministerstvo dopravy Výzkumnému ústavu dopravní a úpravárenské techniky na počátku padesátých let. Důvodem byla nevhodnost parních a elektrických vlaků pro příměstskou dopravu. Hlavními motivy změny byly dlouhé doby rozjezdu a brzdění na krátkých úsecích mezi stanicemi a náročná změna směru jízdy vlaku v koncových stanicích. Nově vyvíjené elektrické jednotky byly vybaveny stanovišti strojvedoucího na obou stranách, dobře dimenzovanými brzdami a převodem pro rychlý rozjezd.

Koncepce byla schválena v roce 1955 a v roce 1957 byla zahájena výroba. První elektrická jednotka ČSD byla dodána v roce 1959, druhá o rok později. Jednotky dostaly řadové označení 451 (přezdívaná "Žabotlam", obr. 1).

Během vývoje došlo k řadě projektových úprav. Následně byla zahájena sériová výroba. Celkem bylo dodáno 51 jednotek s plánovanou životností 15 let. Spolehlivost, pokrokovost řešení a zachovalý stav však umožňuje provoz jednotek i v současnosti.



Obr. 1: "Žabotlam" (Zdroj: [6])

V roce 1962 zadalo Ministerstvo dopravy nový požadavek. V návaznosti na osvědčenou jednotku 451 měla vzniknout nová varianta s vysokopodlažním uspořádáním. Vývoj jednotek s řadovým označením 460 (přezdívaná "Pant'ák", obr. 2) trval přes deset let. V roce 1971 byly vyrobeny dva prototypy, v letech 1974 až 1978 probíhala sériová výroba.



Obr. 2: "Panták" (zdroj: [7])

Předpokládaná životnost prvních elektrických jednotek 451 měla končit v osmdesátých letech. Začalo se tedy zvažovat, čím je nahradit. První prototyp elektrické jednotky s řadovým označením 470 (přezdívaná "Kraken", obr. 3) byl dokončen v roce 1990, druhý v roce 1991. Jednalo se o jednotku unikátního provedení, která kombinovala jednopatrové hlavové vozy s dvoupatrovými vloženými. Byly zde použity stejnosměrné trakční motory, které pro sériovou výrobu nahradily asynchronní trakční motory. První sériová dodávka 60 souprav byla naplánována na rok 1994, ale nebyla kvůli ekonomickým problémům ČD realizována. Zrušením dodávky zanikl i vývoj jednotky na střídavý proud.



Obr. 3: "Kraken" (zdroj: [8])

V roce 1992 začal vývoj jednotek řady 471( "City Elephant", obr. 4), který navazoval na prototypy řady 470. První vůz nové řady byl dokončen v roce 1997. Kompletní jednotka byla Českým drahám dodána až v roce 2000. K předání posledních jednotek došlo v roce 2013.





Obr. 4: City Elephant (zdroj: [9])

Když v roce 1993 začala rekonstrukce koridoru Děčín-Praha-Česká Třebová-Brno-Břeclav, který je součástí IV. mezinárodního koridoru Berlin - Praha - Wien, bylo třeba vyvinout nová univerzální vozidla bez nutnosti přepřahu lokomotivy. Návrh koncepce třísystémových sedmivozových souprav s naklápěním vozových skříní vznikl v roce 1994. Podle původního plánu mělo být do roku 2000 dodáno deset souprav. Po mnoha peripetiích na straně odběratele i dodavatelů byla v roce 2003 v severoitalském Saviglianu firmou Alstom Ferroviaria zahájena výroba sedmi jednotek řadového označení 680 ("Pendolino", obr. 5). Dne 19. 6. 2003 dorazila do Prahy první dokončená souprava. Poslední soupravy byly předány na podzim roku 2005.

Na rozdíl od předchozích jednotek je Pendolino určeno k dálkové dopravě. Ačkoliv je jeho maximální rychlost 230 km/h, není možné ji u nás zatím využívat. Koridory, kterými Pendolino v ČR projíždí umožňují maximální traťovou rychlost 160 km/h.

Jako jediná jednotka v ČR je Pendolino vybaveno nuceným naklápěním vozových skříní. Tato funkce umožňuje zachovat jízdní komfort a při tom udržet vyšší rychlost v oblouku. Naklápění je prováděno pomocí hydraulických válců a umožňuje až 8° odklon od svislé osy. Řízení naklápění provádí elektronická jednotka napojená na gyroskopická čidla.



Obr. 5: Pendolino (zdroj: [10])

V roce 2011 si České dráhy u společnosti Škoda Vagonka, a.s. objednaly vývoj a výrobu částečně nízkopodlažní jednotky, která později dostala název RegioPanter (obr. 6). První dokončená jednotka byla předána ČD v druhé polovině roku 2012, poslední na začátku roku 2014. Jedná se o jednotky určené pro regionální dopravu. Jednotka se vyrábí ve třech řadách - 440, 640, 650.

Od konce roku 2015 můžeme na českých kolejích potkávat také jednotky InterPanter s řadovým označením 660 a 661. Jedná se o soupravy určené k dálkové dopravě. První nasazení proběhlo na trase Brno - Břeclav - Olomouc. V současné době už tyto jednotky obsluhují také trasu Brno - Česká Třebová - Praha.

Obě jednotky s označením Panter mají maximální rychlost 160 km/h, tedy plně využívají možností nově rekonstruovaných koridorů. Společně s jednotkou Pendolino také jako první splňují nároky moderního cestujícího, jež byly zmíněny v kapitole 2.1.



Obr. 6: RegioPanter (zdroj: [11])

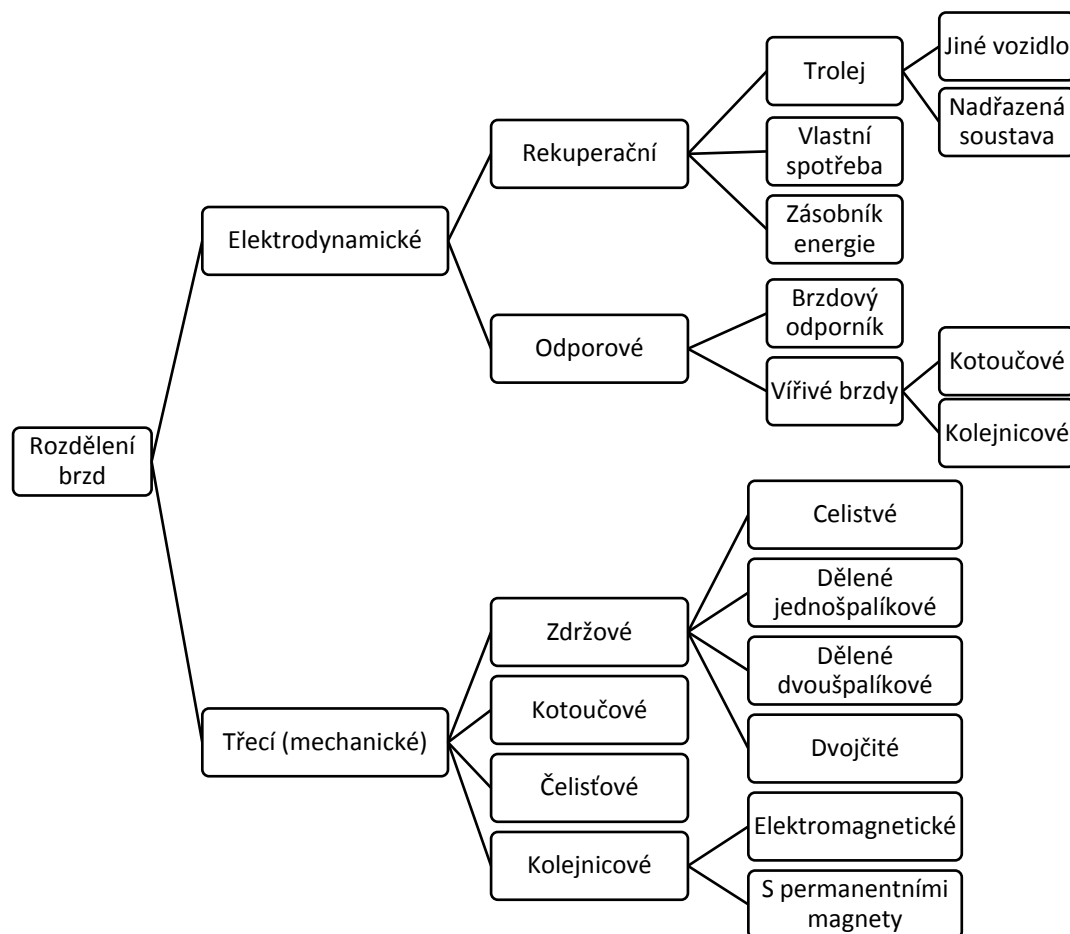
### 3 BRZDOVÝ SYSTÉM ELEKTRICKÉ TRAKČNÍ JEDNOTKY

Brzdy všeobecně jsou vnímány jako zásadní bezpečnostní prvek. Všechny typy vozidel, jejichž účelem je konat a již nekonat pohyb, je nutně musí obsahovat. Jedná se o aktivní bezpečnostní ochranu jak osob převážených, tak osob nezúčastněných, tedy mimo vozidlo.

Brzdou můžeme nazvat každé zařízení, které slouží k regulaci rychlosti, jíž se vozidlo pohybuje, a také k zajištění vozidla v klidové poloze. Přirozený způsob brzdění se nazývá jízda "výběhem". Jednotka tak brzdí pasivně pouze přirozenými vlivy jízdních odporů soupravy a sklonem trati. [12]

Tento způsob však není možno považovat za součást brzdícího, a tedy bezpečnostního, mechanismu. Každá elektrická trakční jednotka je vybavena několika aktivními brzdovými systémy. Tyto systémy ve spolupráci slouží k plnému a bezpečnému zabrzdění jednotky. Jejich ovládání není a nesmí být vzájemně provázáno. [13]

Všeobecně je možné brzdová zařízení rozdělit dle následujícího schématu:



Obr. 7: Přehled brzdových zařízení (zdroj: [12])

V našem případě, tedy u elektrických trakčních jednotek, se budeme zabývat třemi typy brzdových zařízení:

- Elektrodynamická brzda - tzv. "brzdění motorem", kdy se získaná energie maří v odporcích nebo je rekuperačně poskytována zpět do troleje
- Kotoučová brzda - čelisti kotoučové brzdy, ovládané tlakem vzduchu v potrubí brzdového zařízení, působí na brzdný kotouč (jedná se o stejný princip jako např. u automobilů)
- Magnetická kolejnicová brzda - brzdící síla vzniká třením brzdových trámců o temeno kolejnice

### 3.1 Elektrodynamická brzda

Při náběhu elektrodynamické brzdy dojde k přepojení trakčních motorů, které začínají pracovat jako generátory. Vzniklá energie se maří ve ventilátory chlazených odporcích na střeše jednotky nebo se rekuperovaná energie vrací zpět do trolejového vedení. Tuto energii tak mohou využít pro trakci ostatní vozidla, nacházející se na stejné infrastruktuře.

Na rozdíl od mechanické brzdy se u brzdy elektrodynamické jedná o systém, který se neopotřebovává. Z tohoto důvodu se také užívá jako primární pro průběžné přibrzdování i pro úplné brzdění. Až po té, co je dosaženo maximálního možného účinku, se začne zapojovat také mechanická kotoučová brzda.

### 3.2 Kotoučová brzda

Podle dopravního řádu drah, je pneumatická brzda nutnou součástí elektrické jednotky: "Vlak, jehož stanovená rychlost je vyšší než 40 km/h musí být brzděn průběžnou brzdou samočinnou." [12]

Kotoučová brzda plně eliminuje neodstranitelné negativní vlastnosti brzdy špalíkové (zdržové). Hlavní předností tohoto typu brzdy je, že součinitel tření mezi kotoučem a obložením je téměř neměnný a nezávislý na teplotě a rychlosti.

Hlavními součástmi kotoučové brzdy jsou vzduchojemy, vzduchový rozvaděč, brzdové potrubí, brzdový válec a brzdové čelisti. Brzdové čelisti působí na brzdný kotouč, který je umístěn na nápravě nebo v kolech vozidla. Při brzdění maří čelisti pohybovou energii vozidla. Jedná se tedy o brzdu mechanickou třecí.

Rozvod vzduchu po celé soustavě je realizován hlavním potrubím. To prochází pod každým rámem vozidla a mezi vozy je spojeno pružnými brzdovými spojkami. Potrubí je napojeno na vzduchojemy (umístěny podle typu jednotky buď na střeše nebo podélně pod rámem vozidla), což jsou zásobníky stlačeného vzduchu. Hlavní vzduchojem slouží jako zásobník pro veškeré pneumatické mechanismy jednotky, pomocný vzduchojem je obvykle přímo propojen s rozvaděčem a slouží k napájení brzdových válců.



Nově vyráběné jednotky jsou vystrojeny sušiči vzduchu a filtračním ústrojím, které ochrání brzdové potrubí před nečistotami a vlhkostí.

K brzdění dochází v okamžiku, kdy je v hlavním potrubí snížen tlak (běžná hodnota tlaku v hlavním potrubí je 5,0 bar). Během snižování tlaku začíná prostřednictvím funkce rozvaděče proudit vzduch z pomocného vzduchojemu do brzdového válce. Při odbrzdování dochází k opačnému jevu. Tedy tlak vzduchu v hlavním potrubí se zvyšuje. Opačná funkce rozvaděče umožní přes další ovládaná zařízení vozidlo odbrzdit.

Kotoučová brzda u elektrických trakčních jednotek patří do kategorie samočinných brzd. V případě, že dojde k poškození tlakového hlavního potrubí brzdového systému, nastane pokles tlaku a brzdové rozvaděče přepustí veškerý vzduch do brzdových válců. Brzda tedy reaguje bez impulsu od strojvedoucího - samočinně.

### **3.3 Magnetická kolejnicová brzda**

Při použití kolejnicové brzdy se tyto aktivují procesem rychlobrzdění nebo nouzového brzdění při rychlosti nad 50 km/h a musí být neúčinné pod rychlostí 20 km/h. Užívá se jako brzda nouzová, společně s rychlobrzdou. Její aktivace totiž dokáže výrazně zkrátit brzdnou dráhu.

Nejrozšířenějším typem je elektromagnetická kolejnicová brzda, která je tvořena dvěma trámcí osázenými elektromagnety. Trámce kolejnicové brzdy jsou umístěny mezi dvojkolími podvozku.

Brzdící síla kolejnicové brzdy se vytváří třením brzdových trámců o kolejnici. Ke kolejnici jsou brzdové trámce přitahovány magnetickým polem. To je vyvoláno průchodem proudu z vozové baterie do elektromagnetů uvnitř brzdových trámců. Zpět do klidové polohy se brzdové trámce dostávají pomocí zvedacích pružin. Při aktivaci jsou pružiny přetlačeny silou vyvolanou stlačeným vzduchem, který je plněn do pracovních spouštěcích válců.

V případě použití typu magnetické brzdy s permanentními magnety, lze tyto použít i jako brzdu zajišťovací při odstavení vozidla.



## 4 NÁVRH SYSTÉMU KONTROLY BRZD

Brzdové systémy popsané v předchozí kapitole jsou přímo provázány s řídicím pultem elektrické trakční jednotky. Moderní technologie umožňují prostřednictvím pultu nejen ovládání, ale také zpětnou vazbu zobrazovanou na integrovaných monitorech.

S využitím těchto prostředků je možno implementovat modernizaci brzdového systému, která umožní jak lokalizaci případné poruchy, tak vyplývající úpravu jízdních vlastností k zachování maximální bezpečnosti. Strojvedoucí tedy bude schopen pokračovat v jízdě aniž by ohrozil cestující a způsoboval zdržení na trati.

Ke stávajícím obrazovkám nastavení a ovládání jednotky je přidána nová obrazovka sloužící k řešení poruchy (obr. č. 8). Strojvedoucí zde nastaví z výběrového seznamu o jakou soupravu se jedná a jakou trasu má předepsanu. Na základě této volby se vyplní další parametry tabulky včetně přípravy výpočtových podkladů na pozadí.

5/24/2017 10:44		0 km/h	BRZDNÝ SYSTÉM - ŘEŠENÍ PORUCHY					Obrazovka č.: 1234		ŘÍDÍCÍ											
Číslo vlaku	555	<table border="1"> <tr> <td>Kotoučová brzda</td> <td>HV1</td> <td>VV1</td> <td>VV2</td> <td>VV1</td> <td>HV2</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>		Kotoučová brzda	HV1	VV1	VV2	VV1	HV2							<table border="1"> <tr> <td>Omezovač [km/h]</td> </tr> <tr> <td>160</td> </tr> </table>				Omezovač [km/h]	160
Kotoučová brzda	HV1			VV1	VV2	VV1	HV2														
Omezovač [km/h]																					
160																					
Souprava	Pětivozová																				
Trasa	Břeclav - Praha																				
Délka [m]	132																				
Hmotnost [t]	270																				
Celková brzdicí váha [t]	543	<table border="1"> <tr> <td>Elektrodynamická brzda</td> <td> </td> </tr> </table>		Elektrodynamická brzda		<table border="1"> <tr> <td>Kolejnicová brzda</td> <td> </td> </tr> </table>		Kolejnicová brzda													
Elektrodynamická brzda																					
Kolejnicová brzda																					
Maximální povolená rychlost [km/h]	160																				

Obr. 8: Návrh obrazovky brzdového systému (zdroj: autor)

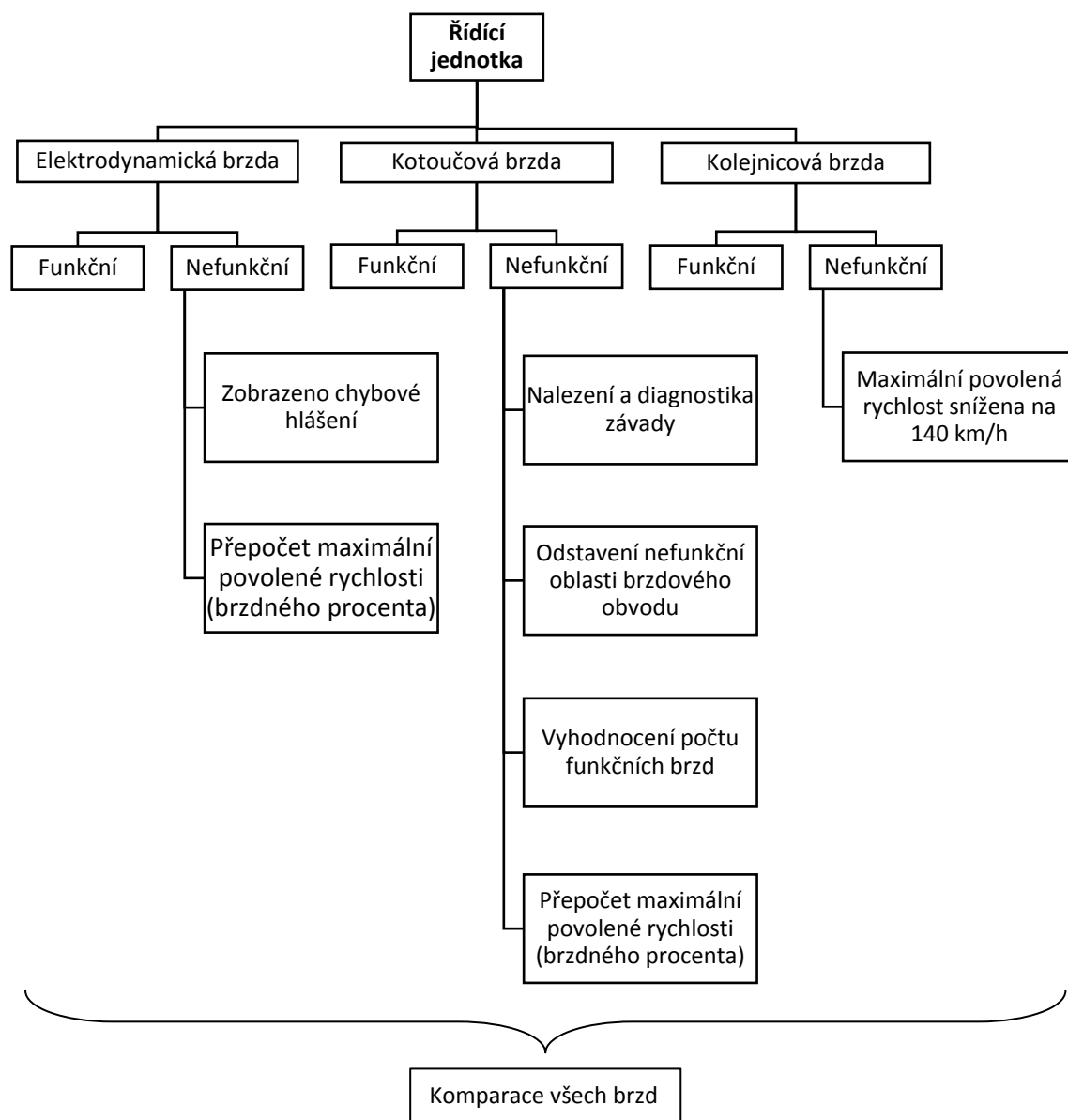
V levém horním rohu obrazovky je kromě aktuálního data a času umístěn především rychloměr. V levé tabulce se nachází již výše zmíněné parametry soupravy a trasa. Středová tabulka je hlavní částí obrazovky. Zde je možno v případě poruchy zaznamenat závadu ke které došlo. Na základě obdržených údajů systém zobrazí varování vyplývající z daného typu poruchy a na omezovači v pravé části obrazovky se nastaví a zobrazí maximální povolená rychlost jednotky. Princip fungování kontrolního mechanismu a řešení situací v případě chyby jednotlivých brzd je obsaženo v následujících podkapitolách.

### 4.1 Větvení kontrolního mechanismu

Základní fungování kontrolního mechanismu je uvedeno ve schématu (obr. č. 9). Jednotlivé brzdy se vyhodnocují samostatně a každá má své bezpečnostní pokyny a normovaná opatření v případě poruchy.

Při vícenásobné poruše je kromě vyhodnocení jednotlivých větví v systému zahrnuta také komparace všech chyb, která zajišťuje, že do výpočtů pro bezpečnou jízdu

jednotky budou zahrnuty veškeré nastalé vlivy a získané hodnoty budou skutečně splňovat všechny bezpečnostní požadavky.



Obr. 9: Větvení kontrolního mechanismu (zdroj: autor)

## 4.2 Vstupní údaje a výpočty

Z předchozího schématu je zřejmé, že ve všech případech, mimo výpadku kolejnicové brzdy, dochází k výpočtu maximální povolené rychlosti. Její hodnota se odvíjí od celkové brzdicí váhy jednotky a brzdného procenta. Abychom mohli určit potřebné hodnoty k výpočtu, je třeba vložit do systému vstupní údaje.

Tyto hodnoty jsou trvale vloženy "na pozadí" kontrolní obrazovky a podle zvoleného typu soupravy si výpočtový mechanismus sám načítá patřičné hodnoty (obr. č. 10).

Vstupní informace:													
	Souprava:	Pětivozová			Složení jednotky								
	Číslo vlaku:	555						počet	hmotnost jednoho vozu (t)	Brzdicí váha na 1 podvozek (t)			
	Maximální povolená rychlost:	160	km/h							R	E	Mg	R+E+Mg
	Délka soupravy	132	m		Hlavové vozy		HV1	1	60	88	17	20	125
	Hmotnost soupravy:	270	t				HV2	1	57	85	17	20	122
	Celková brzdicí váha:	543	t		Vložené vozy		VV1	2	53	77	17	20	114
	Maximální brzdné procento	201	%				VV2	1	47	68	-	-	-
	Trasa	Břeclav - Praha											
	Brzdné procento trasy	185	%										

Obr. 10: Vstupní hodnoty pětivozové jednotky (zdroj: autor)

V levé části tabulky jsou uvedeny hodnoty, ze kterých se načítají informace do hlavní obrazovky a kromě výpočtu slouží jako informativní hodnoty pro strojvedoucího. V pravé části tabulky jsou uvedena označení jednotlivých vozů jednotky, jejich počet, hmotnost a brzdné vlastnosti. Z těchto hodnot jsou prováděny výpočty brzdicí váhy, brzdného procenta a maximální povolené rychlosti. Vstupní tabulky vyhotovené pro tuto práci jsou orientační.

### Brzdicí váha

Hodnota brzdicí váhy je dána součtem brzdicích vah jednotlivých vozů (1) a popisuje mohutnost brzdy.

Vycházíme-li z příkladu pětivozové jednotky (obr. č. 10), je možno brzdicí váhu (BV) jednotky spočítat podle rovnice

$$BV = a \cdot HV1 + b \cdot HV2 + c \cdot VV1 + d \cdot VV2 \quad [t] \quad (1)$$

kde:

a, b, c, d	počet vozů daného typu
HV1, HV2, VV1, VV2	brzdicí váha daného typu vozu [t]

### Brzdné procento

Výpočet brzdného procenta (2) slouží ke zjištění, zda se jednotka stále nachází v nastavení, které umožňuje bezpečně zastavit vlak.

Brzdné procento (BP) je dáno podílem brzdicí váhy jednotky a její celkové hmotnosti, které pro převod na procenta vynásobíme stem. V případě pětivozové jednotky (obr. č. 10) tedy vzniká rovnice

$$BP = \frac{BV}{a \cdot m_{HV1} + b \cdot m_{HV2} + c \cdot m_{VV1} + d \cdot m_{VV2}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

kde:

BV

brzdící váha

a, b, c, d

počet vozů daného typu

$m_{HV1}$ ,  $m_{HV2}$ ,  $m_{VV1}$ ,  $m_{VV2}$

hmotnost daného typu vozu [t]

Před přechodem na výpočet maximální povolené rychlosti je získané brzdné procento porovnáváno s brzdým procentem trasy. Tato hodnota uvádí k jakému snížení maximálního brzdného procenta může dojít, aniž by to ovlivnilo maximální povolenou rychlost jednotky. V případě, že vypočtené brzdné procento je vyšší než brzdné procento trasy, je výpočet zastaven a rychlost jednotky není omezena. Pokud je vypočtená hodnota brzdného procenta nižší než brzdné procento trasy, výpočet pokračuje k určení maximální povolené rychlosti.

Hodnota brzdného procenta trasy se liší nejen podle trasy, ale také podle typu soupravy, její délky, hmotnosti a dalších parametrů. Pro účely této práce byla použita stejná tabulka s orientačními hodnotami pro oba typy jednotek. Pro reálný provoz je možno brzdná procenta trasy dohledat v tabelárních jízdních řádech.

### Maximální povolená rychlost

Maximální povolenou rychlost jednotky v plně funkčním stavu nalezneme uvedenou v levé části tabulky (obr. č. 10). V případě, že dojde k poruše v některém z brzdových systému, je třeba maximální povolenou rychlost znovu vypočítat a porovnat s uvedenou hodnotou. Pokud je vypočtená rychlost nižší než uvedená, je hodnota omezovače přenastavena.

Maximální povolená rychlost (MPR) se počítá na základě užití přímé úměry z hodnoty maximální povolené rychlosti pro plně funkční soustavu (MPRS), maximální hodnoty brzdného procenta (MBP) a vypočtené hodnoty brzdného procenta (BP). Pro pětivozovou jednotku (obr. č. 10) by se tedy jednalo o rovnici ve tvaru

$$MPR = \frac{BP}{MBP} \cdot MPRS \quad [\text{km/h}] \quad (3)$$

kde:

BP

brzdné procento [%]

MBP

maximální brzdné procento [%]

MPRS

max. povolená rychlost soupravy [km/h]

## 4.3 Vyhodnocení výpočtů

Po provedení výpočtů pro jednotlivé typy brzd je třeba obdržené výsledky vyhodnotit, odeslat na vstupní obrazovku informaci o výsledném nastavení omezovače a aktivovat chybová upozornění.

Tento proces probíhá na pozadí vstupní obrazovky jako porovnání všech získaných či pevně daných hodnot pro zvolenou jednotku (obr. č. 11).

OMEZOVAČ:									
			70				km/h		
			max. povolená rychlost jedn.						160
			kotoučová brzda						114
			elektrodynamická brzda						140
			kolejnicová brzda						140
			Příliš nízké brzdné procento						160
			komparace brzd						70
			nejnižší hodnota						70

Obr. 11: Vyhodnocení obdržených výsledků (zdroj: autor)

Hodnoty shrnuté v tabulce obsahují při bezchybném stavu maximální povolenou rychlost jednotky (zde 160 km/h). V případě, že dojde k přepočtu u některé z brzd, je hodnota ponížena na obdržený výsledek. Následně jsou hodnoty mezi sebou porovnávány a nejnižší získaná hodnota se přepíše do pole „nejnižší hodnota“. Z tohoto místa je přenesena do omezovače, kde také dochází k zaokrouhlení na násobky čísla pět (standartizované ovládací prvky řídicího pultu umožňují nastavení změny rychlosti pouze v těchto násobcích). Tato definitivní hodnota je po té propsána na vstupní obrazovku a nastavena jako maximální povolená rychlost pro systémový omezovač.

V případě, že by při výpočtu brzdného procenta u některé z brzd dojde k poklesu pod 60%, není jízda jednotky dále možná. V řádku „Příliš nízké brzdné procento“ je přenastavena hodnota na nulu.

Nulová hodnota rychlosti je zobrazena zároveň s chybovým hlášením, které upozorňuje strojvedoucího na danou skutečnost. Systémový tempomat je zablokován a jízda jednotky není dále možná.

#### 4.4 Řešení nefunkční elektrodynamické brzdy

Jak již bylo zmíněno, elektrodynamická brzda se pro brzdění užívá primárně, aby nedocházelo ke zbytečnému opotřebením mechanických částí. Je tedy zřejmé, že při jejím poškození, či vyřazení z provozu, není jedoucí jednotka přímo ohrožena.

Při výpadku elektrodynamické brzdy tedy není nutná žádná mechanická úprava. Je však nezbytné upozornit strojvedoucího, že se něco děje (obr. č. 12) a z bezpečnostního hlediska také pro kontrolu přepočíst maximální povolenou rychlost.

V systému je proto implementováno informační hlášení pro strojvedoucího a přepočtový mechanismus, který ověří, zda došlo ke snížení maximální povolené rychlosti. V případě, že je rychlost změněna, nastaví se hodnota na omezovači.

5/24/2017 10:44		0	km/h	BRZDNÝ SYSTÉM - ŘEŠENÍ PORUCHY					Obrazovka č.: 1234		Řídicí
Číslo vlaku		555		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Kotoučová brzda</div> <div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>HV1</div><div>VV1</div><div>VV2</div><div>VV1</div><div>HV2</div> </div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin-top: 5px;"></div> </div> </div>					<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; font-size: 24px; font-weight: bold;">140</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;">Omezovač [km/h]</div>		
Souprava		Pětivozová									
Trasa		Břeclav - Praha									
Délka [m]		132		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Elektrodynamická brzda</div> <div style="background-color: red; width: 20px; height: 20px; margin: 0 5px;"></div> <div style="color: red; font-weight: bold;">Elektrodynamická brzda mimo provoz!</div> </div>							
Hmotnost [t]		270									
Celková brzdicí váha [t]		543									
Maximální povolená rychlost [km/h]		160		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Kolejnicová brzda</div>							

Obr. 12: Chyba elektrodynamické brzdy (zdroj: autor)

Přepočtový mechanismus vychází z hodnoty celkové brzdicí váhy jednotky, která se v případě ztráty funkčnosti elektrodynamické brzdy poníží jen o velmi malou část. Následný výpočet brzdného procenta (založený na hodnotě brzdicí váhy) tak vychází jen nepatrně rozdílně od plné hodnoty. Je tedy možné, že po výpadku elektrodynamické brzdy dochází jen k velmi mírnému snížení maximální povolené rychlosti (obr. č. 12). Tento fakt je způsoben rozložením brzdicí váhy mezi jednotlivé typy brzd (obr. č. 10).

Na pozadí obrazovky můžeme vidět, že po simulaci chyby elektrodynamické brzdy se aktivuje chybové hlášení, které je propsáno na hlavní obrazovku. Po té je aktivován přepočet maximální povolené rychlosti (obr. č. 13).

Brzdový systém:

Elektrodynamická brzda (E)	0	NEFUNGUJE =>	PROVOZNÍ ÚPRAVA:	Elektrodynamická brzda mimo provoz! =>	Brzdící váha: 475 t
----------------------------	---	--------------	------------------	--	---------------------

=> Brzdné procento: 176 %	=> Maximální povolená rychlost: 140 km/h
---------------------------	--

Obr. 13: Chyba elektrodynamické brzdy (zdroj: autor)

## 4.5 Řešení nefunkční kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy jsou nejdůležitější a nerozsáhlejší v celém brzdovém systému. Jejich mechanismus, umístěný nekrytě na podvozku vozidla, je tak nejvíce ohrožen možným poškozením. Nejpravděpodobnějším místem poškození se jeví vzduchové



potrubí a především brzdové spojky z měkčího materiálu (ať už se jedná o mechanické poškození nebo přirozené stárnutí materiálu).

Je tedy třeba nejen implementovat systém, který bude hlídat celkovou funkčnost kotoučových brzd, ale v případě potřeby dokáže také poškozenou oblast uzavřít a znovuobnovit tlak v potrubí. Dění ve vzduchovém potrubí totiž neovládá jen strojvedoucí při brzdění. Je na něj také napojeno ovládání brzdy nouzové, kterou mohou v případě krizové události spustit cestující. V případě zatažení za nouzovou brzdu musí okamžitě dojít k vypuštění vzduchu z celého obvodu. Výjimkou jsou pouze jednotky vybavené přemostěním záchranné brzdy. U nich je aktivace záchranné brzdy indikována na řídicím pultu a strojvedoucí může brzdění odložit. Tento ochranný prvek slouží k prevenci zastavení vlaku ve špatně dostupné oblasti např. uprostřed tunelu nebo na mostě.

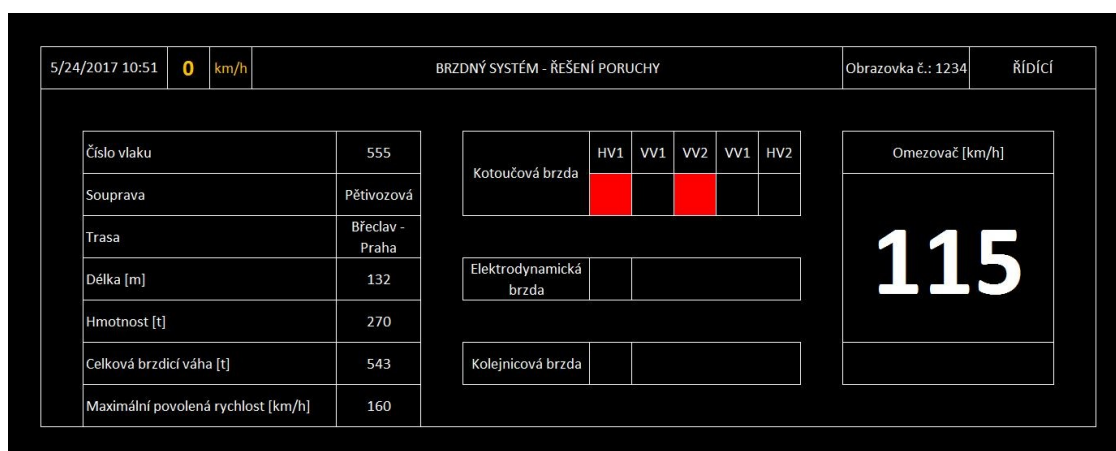
#### 4.5.1 Nalezení závady a odstavení nefunkční oblasti z brzdového obvodu

V případě, že dojde k porušení vzduchového potrubí nebo brzdových spojek zaznamená strojvedoucí pokles tlaku v brzdách. Pro obnovení plného tlaku v obvodu je nutno zasaženou oblast lokalizovat a vyčlenit.

Z tohoto důvodu budou do vzduchového obvodu přidány ventily (mechanické nebo elektronicky ovládané) umožňující uzavření určité oblasti. Ventily budou umístěny na obou koncích jednotlivých vozů. Tak bude možno z obvodu vyčlenit buď zasažený vůz nebo jen poškozenou brzdovou spojku mezi vozy.

K samotnému otestování využije strojvedoucí možnosti uzavírat jednotlivé oblasti a poté znovu natlačit oblasti zbylé. Vylučovací metodou tedy určí, která část mechanismu je poškozena a nechá ji uzavřenou. Zbylou funkční část obvodu je možno plně dotlačit.

Po ukončení zkoušky a opětovném natlakování zbylých použitelných oblastí se na nově implementované obrazovce zobrazí, kterých vozů jednotky se závada týká (obr. č. 14).



Obr. 14: Chyba kotoučové brzdy (zdroj: autor)

#### 4.5.2 Vyhodnocení počtu funkčních brzd a přepočet rychlosti (brzdné procento)

Po označení nefunkčních vozů se na pozadí obrazovky (obr. č. 15) provede nejprve přepočítání brzdící váhy. Tento výpočet je založen na odečtení brzdících vah vyřazených vozů od celkové brzdící váhy jednotky.

Na základě získané hodnoty dojde k výpočtu brzdného procenta (2) a po té můžeme vypočítat maximální povolenou rychlost (3). Obdržená hodnota se předá do systémového omezovače, aby bylo zabráněno jízdě v rychlosti vyšší a tedy ohrožení cestujících.

Brzdový systém:					
	Funkční/nefunkční				
Kotoučová brzda (R)	<span style="background-color: red; color: white;">0</span> NEFUNGUJE =>	PROVOZNÍ ÚPRAVA:	Zadejte počet nebrzděných vozů:	HV1	1
				HV2	
				VV1	
				VV2	1

=> Brzdicí váha:	387 t	=> Brzdné procento:	143 %	=> Maximální povolená rychlost:	114 km/h
------------------	-------	---------------------	-------	---------------------------------	----------

Obr. 15: Výpočty při chybě kolejnicové brzdy (zdroj: autor)

#### 4.6 Řešení nefunkční kolejnicové brzdy

V případě poškození kolejnicové brzdy je především zasaženo brzdění vlaku při zatažení za nouzovou brzdou. Z předchozí kapitoly víme, že jako záchranná brzda slouží kolejnicová brzda hlavně k výraznému zkrácení brzdné dráhy. Z důvodů zvýšení bezpečnosti jízdy bylo pro případ výpadku kolejnicové brzdy zavedeno snížení maximální povolené rychlosti na 140 km/h.

V navrhovaném mechanismu je tedy implementováno nejen varovné hlášení o výpadku kolejnicové brzdy, ale zároveň také snížení maximální provolené rychlosti jednotky na 140 km/h v systémovém omezovači (obr. č. 16).

5/24/2017 10:52		0	km/h	BRZDNÝ SYSTÉM - ŘEŠENÍ PORUCHY					Obrazovka č.: 1234		ŘIDIČ																																																																																		
<table border="1"> <tr> <td>Číslo vlaku</td> <td>555</td> <td colspan="6"> <table border="1"> <tr> <td>Kotoučová brzda</td> <td>HV1</td> <td>VV1</td> <td>VV2</td> <td>VV1</td> <td>HV2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> <td colspan="2" rowspan="6"> <table border="1"> <tr> <td> <div> <div> Omezoavač [km/h]</div> <div>140</div> </div> </td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Souprava</td> <td>Pětivozová</td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td>Trasa</td> <td>Břeclav - Praha</td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td>Délka [m]</td> <td>132</td> <td colspan="6"> <table border="1"> <tr> <td>Elektrodynamická brzda</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Hmotnost [t]</td> <td>270</td> <td colspan="6"></td> </tr> <tr> <td>Celková brzdicí váha [t]</td> <td>543</td> <td colspan="6"> <table border="1"> <tr> <td>Kolejnicová brzda</td> <td></td> <td>Kolejnicová brzda mimo provoz!</td> </tr> </table> </td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Maximální povolená rychlost [km/h]</td> <td>160</td> <td colspan="6"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>												Číslo vlaku	555	<table border="1"> <tr> <td>Kotoučová brzda</td> <td>HV1</td> <td>VV1</td> <td>VV2</td> <td>VV1</td> <td>HV2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Kotoučová brzda	HV1	VV1	VV2	VV1	HV2							<table border="1"> <tr> <td> <div> <div> Omezoavač [km/h]</div> <div>140</div> </div> </td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table>		<div> <div> Omezoavač [km/h]</div> <div>140</div> </div>		Souprava	Pětivozová							Trasa	Břeclav - Praha							Délka [m]	132	<table border="1"> <tr> <td>Elektrodynamická brzda</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Elektrodynamická brzda			Hmotnost [t]	270							Celková brzdicí váha [t]	543	<table border="1"> <tr> <td>Kolejnicová brzda</td> <td></td> <td>Kolejnicová brzda mimo provoz!</td> </tr> </table>						Kolejnicová brzda		Kolejnicová brzda mimo provoz!			Maximální povolená rychlost [km/h]	160								
Číslo vlaku	555	<table border="1"> <tr> <td>Kotoučová brzda</td> <td>HV1</td> <td>VV1</td> <td>VV2</td> <td>VV1</td> <td>HV2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Kotoučová brzda	HV1	VV1	VV2	VV1	HV2							<table border="1"> <tr> <td> <div> <div> Omezoavač [km/h]</div> <div>140</div> </div> </td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table>		<div> <div> Omezoavač [km/h]</div> <div>140</div> </div>																																																																							
Kotoučová brzda	HV1	VV1	VV2	VV1	HV2																																																																																								
<div> <div> Omezoavač [km/h]</div> <div>140</div> </div>																																																																																													
Souprava	Pětivozová																																																																																												
Trasa	Břeclav - Praha																																																																																												
Délka [m]	132	<table border="1"> <tr> <td>Elektrodynamická brzda</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Elektrodynamická brzda																																																																																					
Elektrodynamická brzda																																																																																													
Hmotnost [t]	270																																																																																												
Celková brzdicí váha [t]	543	<table border="1"> <tr> <td>Kolejnicová brzda</td> <td></td> <td>Kolejnicová brzda mimo provoz!</td> </tr> </table>						Kolejnicová brzda		Kolejnicová brzda mimo provoz!																																																																																			
Kolejnicová brzda		Kolejnicová brzda mimo provoz!																																																																																											
Maximální povolená rychlost [km/h]	160																																																																																												

Obr. 16: Chyba kolejnicové brzdy (zdroj: autor)

Na pozadí obrazovky v tomto případě není nutno provádět žádný výpočet. Dojde pouze k nastavení hodnoty omezovače (obr. č. 17).

Brzdový systém:						
Kolejnicová brzda (Mg)	0	NEFUNGUJE =>	PROVOZNÍ ÚPRAVA:	Snížení maximální povolené rychlosti na 140 km/h!		

Obr. 17: Proces výpočtu při chybě kolejnicové brzdy (zdroj: autor)

## 4.7 Komparace výsledků při vícenásobné chybě

Doposud jsme řešili pouze situace při chybě jedné části brzdového systému. Může však samozřejmě dojít také k vícenásobné poruše. V takovém případě je třeba ve výpočtech zohlednit všechny brzdící váhy o které výpadkem přijdeme.

Na pozadí obrazovky se tedy kromě výpočtů pro jednotlivé brzdy nachází také komparační výpočet (obr. č. 18). Aktivuje se při jakékoliv chybě a v případě, že nastane chyba vícenásobná, sčítá jednotlivé vlivy do konečného výsledku.

Výpočtový mechanizmus komparační části je také postaven na opačné hodnotě brzdící váhy – doplňku k hodnotě s níž se počítá v případě poruchy kotoučové brzdy. Tato skutečnost slouží jako kontrola, že v mechanismu výpočtu pro kotoučovou brzdou nedošlo k chybě (výsledky musí být shodné).

[illegible]

Obr. 18: Proces komparace výsledků při vícenásobné chybě (zdroj: autor)

Komparace výsledků (obr. č. 18) probíhá na stejné bázi jako při chybě výše zmíněné kotoučové brzdy. Nejprve je vyhodnocena reálná brzdící váha, kterou má jednotka k dispozici. Po té je ze získané brzdící váhy vypočteno brzdné procento a z něj maximální povolená rychlost.

Hlavní váha komparace však leží především na brzdném procentu. Při chybě více brzdných mechanismů je totiž pravděpodobnější překročení minimální hodnoty 60%, kterou musí jednotka pro jízdu splňovat.

## 5 ZÁVĚR

V předkládané práci bylo navrženo vylepšení stávajícího řídicího systému elektrických trakčních jednotek. Jedná se o rozšíření určené pro současné moderní jednotky pohybující se na území ČR (tedy maximální povolenou rychlostí 160 km/h), které jsou již vybaveny dotykovými obrazovkami a elektronickým ovládáním.

Jelikož je práce prezentována jako návrh, jsou hodnoty užívané k výpočtům pouze orientační, byť založené na realitě. K plné aplikaci návrhu do provozu by bylo zapotřebí konzultace s profesionálními firmami, které se specializují na brzdné vlastnosti kolejových vozidel. Jedná se o velmi rozsáhlou problematiku, která dalece překračuje rámec tohoto typu dokumentu.

Práci však lze považovat za odrazový můstek v daném směru vývoje. Navržená simulace není konečným výsledkem, ale lze ji případně dále modifikovat a rozvádět (či zjednodušovat) podle potřeb zadavatele. Její využití, které je zde zaměřeno na vlakové jednotky, je možno rozšířit i na klasický typ vlaků.

Zjednodušenou variantu, která by sloužila především k výpočtu brzdící váhy a brzdného procenta, by bylo možno využít především jako externí aplikaci například v nákladní dopravě. Aplikace by byla založena na databázi užívaných nákladních vozů. V databázi by se u každého vozu nacházely patřičné specifikace potřebné pro výpočty. Po vytvoření vlaku by pracovník obsluhy do aplikace zadal typy a množství užitých vozů a následně by obdržel vypočtené hodnoty pro bezpečnou jízdu.

Naopak vylepšená verze by byla doplněna o schopnost rozpoznat z čeho je vlak tvořen. Aplikace by po spuštění načetla jednotlivé vozy vybavené čipem s potřebnými informacemi. Na základě těchto informací by pak sama vytvořila profil vlaku, vyplnila patřičné hodnoty do vstupní tabulky a mohla provádět výpočty.

Je zřejmé, že především u vylepšené varianty by se již jednalo nejen o vývoj aplikace samotné, ale také o výrazné technické zásahy přímo na vozech. A tedy i výrazný finanční vklad.

Dalším možným a možná nejzásadnějším využitím návrhu (i když ze současného pohledu poněkud futuristickým) by mohla být implementace do řídicích systémů automaticky vedených vlaků. Je-li vlak řízen bez strojvedoucího, je u něj nutné zavést o to vyšší množství bezpečnostních prvků. V tomto případě by byl vlak či jednotka schopna řešit nastalé problémy prostřednictvím předem naprogramovaných příkazů (jak bylo předvedeno v simulaci). Zároveň by vysílala informační signál do nejbližší stanice, kde by bylo možno vzniklý problém vyřešit.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Zlinský, Z. Elektrické jednotky na našich kolejích: něco málo úvodem [online]. [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/002919-Elektricke-jednotky-na-nasich-kolejich-neco-malo-uvodem/>
- [2] TALAFIOUS, L. Elektrická trakce - úvod do elektrické trakce [online]. [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://educon.zcu.cz/rservice.php?akce=tisk&cislomodulu=2015013101>
- [3] Bc. Černušek, P. Návrh koncepce elektrické trakční jednotky. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2015, 94 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Famfulík, J. Ph.D.
- [4] POHL, J. Ucelené netrakční jednotky [online]. [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://www.railvolution.net/czechraildays/2009/seminare/kv01.pdf>
- [5] Atlas lokomotiv: Elektrické jednotky [online]. [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/list-ej.html>
- [6] PAPRIKA, Patrik. Wikimedia Commons [online]. [cit. 20.2.2017]. Dostupný z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/24/Lib%C4%8Dice\\_nad\\_Vltavou%2C\\_jednotka\\_451\\_%2801%29.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/24/Lib%C4%8Dice_nad_Vltavou%2C_jednotka_451_%2801%29.jpg)
- [7] HOLIŠ, Radim. Wikimedia Commons [online]. [cit. 20.2.2017]. Dostupný z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/Elektrick%C3%A1\\_jednotka\\_460\\_v\\_Horn%C3%AD\\_Lid%C4%8Di\\_%2802%29.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/Elektrick%C3%A1_jednotka_460_v_Horn%C3%AD_Lid%C4%8Di_%2802%29.jpg)
- [8] POLÁK, Petr. ŽelPage [online]. [cit. 20.2.2017]. Dostupný z: <http://www.zelpage.cz/fotogalerie/big/470019.jpg>
- [9] PAPRIKA, Patrik. Wikimedia Commons [online]. [cit. 20.2.2017]. Dostupný z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%C5%98e%C5%BE,\\_jednotka\\_471.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%C5%98e%C5%BE,_jednotka_471.jpg)
- [10] TOMES, Miroslav. Wikipedie [online]. [cit. 20.2.2017]. Dostupný z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1d/Elektrick%C3%A1\\_jednotka\\_682.002-1\\_-\\_SC\\_510\\_Pendolino\\_-\\_Pardubice.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1d/Elektrick%C3%A1_jednotka_682.002-1_-_SC_510_Pendolino_-_Pardubice.JPG)
- [11] S., Petr. Wikipedie [online]. [cit. 20.2.2017]. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:441001cerhenice2012.jpg>
- [12] EDUCON: Multimedia Supported Education [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2015050202>
- [13] ŠKAPA, P. 1. železniční doprava [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/Zdopr/01\\_ZD.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/Zdopr/01_ZD.pdf)





## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: "Žabotlam" (Zdroj: [6]) .....	19
Obr. 2: "Panták" (zdroj: [7]).....	20
Obr. 3: "Kraken" (zdroj: [8]).....	20
Obr. 4: City Elephant (zdroj: [9]).....	21
Obr. 5: Pendolino (zdroj: [10]) .....	21
Obr. 6: RegioPanter (zdroj: [11]).....	22
Obr. 7: Přehled brzdových zařízení (zdroj: [12]).....	23
Obr. 8: Návrh obrazovky brzdového systému (zdroj: autor) .....	27
Obr. 9: Větvení kontrolního mechanismu (zdroj: autor).....	28
Obr. 10: Vstupní hodnoty pětivozové jednotky (zdroj: autor).....	29
Obr. 11: Vyhodnocení obdržených výsledků (zdroj: autor) .....	31
Obr. 12: Chyba elektrodynamické brzdy (zdroj: autor).....	32
Obr. 13: Chyba elektrodynamické brzdy (zdroj: autor).....	32
Obr. 14: Chyba kotoučové brzdy (zdroj: autor).....	33
Obr. 15: Výpočty při chybě kolejnicové brzdy (zdroj: autor).....	34
Obr. 16: Chyba kolejnicové brzdy (zdroj: autor).....	35
Obr. 17: Proces výpočtu při chybě kolejnicové brzdy (zdroj: autor).....	35
Obr. 18: Proces komparace výsledků při vícenásobné chybě (zdroj: autor).....	35



## SEZNAM PŘÍLOH

Simulace-brzd.xlsx